嘴壶夜蛾的形态、生活史及昼夜节律

冯 波[1], 胡武新[1], 潘 华[2], 杜永均[1,*]

(1. 温州医科大学健康与环境生态研究所, 浙江温州 325035; 2. 江西省农业技术推广总站, 南昌 330046)

摘要: 嘴壶夜蛾 *Oraesia emarginata* (Fabricius)是危害水果果实的重要害虫之一, 其成虫和幼虫取食不同的寄主植物, 可以作为理想的嗅觉研究模式昆虫。为了全面地了解嘴壶夜蛾的形态特性和生物学特性, 本实验通过室内饲喂和红外摄像机观察, 对嘴壶夜蛾各虫态的外部形态、发育以及昼夜活动节律进行了系统研究。结果表明: 嘴壶夜蛾的各龄幼虫可以通过体色, 体表色斑的类型、位置和数量, 以及腹足的数量进行区别。通过蛹的生殖孔和成虫触角能够很好地区别雌雄。在室内饲养条件下, 嘴壶夜蛾的寿命为53.18 ±1.70 d, 存活率为63.62%±2.15%, 其中幼虫的发育历期最长, 存活率最低, 卵的发育历期最短, 存活率最高, 雄成虫的存活时间显著长于雌成虫($P=0.008$)。6 龄幼虫的发育历期(5.29 ±0.15 d)显著长于其余各龄幼虫($P<0.001$)。同一龄发育中期幼虫的体长和体重显著大于将蜕皮幼虫和刚蜕皮幼虫($P\leqslant0.037$); 第2-6 龄刚蜕皮幼虫的体重和体长与前一龄发育中期幼虫之间没有显著差异($P\geqslant0.106$)。幼虫在光期的孵化、蜕皮和化蛹比例高于暗期, 而成虫在暗期的飞行、产卵比例高于光期, 成虫的飞行随着暗期时间的增加而逐渐变少, 光期成虫的飞行主要在开灯之后 1 h。成虫交配集中在暗期的第3-5 小时。本研究结果有助于制定有效的嘴壶夜蛾防治措施, 而且为嘴壶夜蛾作为嗅觉研究模式奠定基础。

关键词: 嘴壶夜蛾; 形态; 生长发育; 生活史; 昼夜节律

中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2013)12-1440-12

Morphology, life history and circadian rhythm of the fruit-piercing moth, *Oraesia emarginata* (Lepidoptera: Noctuidae)

FENG Bo[1], HU Wu-Xin[1], PAN Hua[2], DU Yong-Jun[1,*] (1. Institute of Health and Environmental Ecology, Wenzhou Medical University, Wenzhou, Zhejiang 325035, China; 2. Jiangxi Agricultural Technology Extension General Station, Nanchang 330046, China)

Abstract: The fruit-piercing moth, *Oraesia emarginata* (Fabricius), is an important pest for fruits and can be used as model insect for olfactory study, because its larvae and adults feed on different host type. In order to understand the morphological and biological characteristics of *O. emarginata*, its external morphological characters, developmental duration and the circadian rhythm of different developmental stages were studied through artificially feeding in the controlled conditions and monitoring with infrared camera. The results showed that different larval instars could be differentiated by body color, the color, location and number of spots in the body, and the number of abdominal feet. The genital pore in the pupae, and moth antennae could be used for sex identification. The life time of *O. emarginata* was 53.18 ±1.70 d and the survival rate was 63.62%±2.15% under laboratory conditions. Compared with other stages, larva had the longest developmental duration and lowest survival rate while the egg had the shortest developmental duration and highest survival rate. Male moths lived significantly longer than female moths ($P=0.008$). The developmental duration of the 6th instar larva (5.29 ±0.15 d) was significantly longer than that of other larval instars ($P<0.001$). The body length and body weight of larvae in the middle time of an instar were significantly larger than those before ecdysis and after ecdysis for the same instar ($P\leqslant0.037$). There were no significant differences in the body length and body weight between the larvae after ecdysis of a later instar and the larvae in the middle time of the former instar ($P\geqslant0.106$). The proportions of hatching, ecdysis and pupation of larvae during light period were higher than those during dark period. However, the rates of moths in flight and oviposition under dark

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项基金(201203036)

作者简介: 冯波, 男, 1982 年生, 四川广安人, 博士, 助理研究员, 研究方向为化学生态学, E-mail: fb820529@aliyun.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: dyj@wzmc.edu.cn

收稿日期 Received: 2013-08-19; 接受日期 Accepted: 2013-11-22

condition were higher than those under light condition. The flight frequency of moths decreased when the dark time prolonged and the moths in flight during light period were mostly found in the first hour of light period. The moth copulation was only found at 3 – 5 h after dark. These results will not only help to design more efficient pest control methods, but also provide knowledge for using the insect as a model for olfactory study.

Key words: *Oraesia emarginata*; morphology; growth and development; life history; circadian rhythm

吸果夜蛾是一类危害水果果实的重要害虫，可危害柑桔、梨、桃、李等多种水果，果实受害率常达10%~30%(邹曾健等，1980)，苹果梨被害率最高可达84.76%。随着果树向山区发展，吸果夜蛾有扩大危害的趋势。由于吸果夜蛾直接取食果实，能够带来直接经济损失，因此吸果夜蛾的防治一直是研究重点，涉及了毒果诱杀、黑光灯诱杀、黄光灯避忌等(吴荣宗，1984)。由于吸果夜蛾和其他夜蛾的危害习性不同，部分学者研究了其取食机制(Krenn, 2010)，例如 *Othreis materna* 口器的超微结构(Srivastava and Bogawat, 1969; Ramkumar *et al.*, 2010)。还有部分研究涉及了吸果夜蛾的田间发生状况(Leong and Kueh, 2011)。但是只有少量研究涉及吸果夜蛾的幼虫，例如 *O. materna* 幼虫发育(Mohite *et al.*, 2004)。

嘴壶夜蛾 *Oraesia emarginata* (Fabricius)是吸果夜蛾中发生比较严重的种类，在湖北地区是吸果夜蛾的优势种(刘永生，2000)。在广东山区或半山区，嘴壶夜蛾的发生数量占吸果夜蛾种群的77.8%~89.4%(吴荣宗等，1984)。嘴壶夜蛾成虫趋化性强，喜欢选择健果为害，果实被害后极易脱落。目前关于嘴壶夜蛾的研究主要集中于成虫趋避化合物的筛选(Tian *et al.*, 2007)，成虫的交配、取食和飞行行为(吴荣宗等，1984; Ogihara *et al.*, 1996a)，嘴壶夜蛾在自然界中的发生状况(Ogihara *et al.*, 1996c)，温度对成虫取食行为和生存时间的影响(Ogihara *et al.*, 1996b)，但是对于幼虫的研究涉及较少(Ogihar *et al.*, 1992)，主要为幼虫的室内人工饲料筛选(Iwabuchi *et al.*, 1979)，也有部分研究涉及了嘴壶夜蛾幼虫的形态特征(Ishigai and Hatta, 1960; 邹曾健等，1980)，但是这些研究只是单独的文字描述，并且部分龄期的形态描述完全相同，在实际使用时并不方便。

与目前广泛用于嗅觉研究的蛾类如海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* (Saveer *et al.*, 2012)、烟草天蛾 *Manduca sexta* (Kuebler *et al.*, 2012)和家蚕 *Bombyx mori* (Takasaki *et al.*, 2012)不同，嘴壶夜蛾的成虫和幼虫具有完全不同的寄主，其幼虫取食粉防己 *Stephania tetrandra* 和木防己 *Cocculus orbiculatus* 叶片，成虫危害果树的果实。因此嘴壶夜蛾成虫羽化后先要到水果果实上补充营养，然后进行交配，交配后的雌成虫将卵产在合适的寄主上，以保证后代(幼虫)的正常发育。这说明嘴壶夜蛾成虫除了具有识别雌性性信息素和成虫食物气味(各种水果)外，还具有识别幼虫寄主气味的能力，因此嘴壶夜蛾成虫嗅觉系统的识别谱很宽，可能是非常重要的嗅觉研究模式。本实验详细研究了嘴壶夜蛾卵、各龄幼虫、蛹和成虫的外部形态变化、发育历期、室内饲养时的存活率，幼虫体长和体重的发育过程，幼虫和成虫的昼夜活动节律。通过本研究，我们希望对嘴壶夜蛾的生长发育过程和生活习性有较全面的认识，从而为制定有效的嘴壶夜蛾防治措施及其他相关研究尤其是嗅觉研究奠定基础。

1 材料和方法

1.1 虫源及饲养

嘴壶夜蛾幼虫采自江西宁都县和兴国县，在温州医科大学健康与环境生态研究所人工气候室进行饲养，饲养温度26±1℃，相对湿度75%±5%，光周期为14L:10D (Ogihara *et al.*, 1995)。虽然有学者研究过嘴壶夜蛾的人工饲料(Iwabuchi *et al.*, 1979)，但是不同的饲料将会影响嘴壶夜蛾的发育(Ogihara *et al.*, 1992)，因此本实验仍然使用野外采集的新鲜木防己饲养幼虫。老熟幼虫结茧后，将虫茧放入成虫饲养笼中，待成虫羽化后，利用新鲜橘子进行饲养。每个饲养笼(30 cm×30 cm×30 cm)中放入7对雌雄成虫和两个橘子，利用红外线摄像头或者在红光条件下观察成虫的交配情况，将交配之后的雌虫放入装有橘子和木防己叶片的一次性塑料杯中，用纱布盖住杯口，使其产卵。幼虫和成虫的寄主每3 d更换一次，用于产卵的塑料杯每天更换一次。

1.2 嘴壶夜蛾形态特征研究

将新产卵30粒放入塑料盒(15 cm×25 cm×18

cm)中，每天上午 9:00 观察嘴壶夜蛾的发育进度，将同一天孵化(蜕皮、化蛹、羽化)的嘴壶夜蛾放入同一个塑料盒(饲养笼)中，老熟幼虫结茧后，利用剪刀从端部小心地剪开虫茧，取出蛹。利用 Nikon SMZ1000 观察嘴壶夜蛾卵、各龄幼虫、蛹和成虫的形态特征，并进行拍照和测量，各虫态观察个体数不少于 10 个，选择稳定的形态特征进行描述，描述术语参考陈一心(1999)。

1.3 嘴壶夜蛾发育历期和存活率研究

将新产卵 40 粒放入塑料盒中，每天上午 9:00 观察嘴壶夜蛾的发育进度，将同一天孵化(蜕皮、化蛹、羽化)的嘴壶夜蛾放入同一塑料盒(饲养笼)中，并记录好孵化(蜕皮、化蛹、羽化)时间以及各种状态下的虫量。由于老熟幼虫在化蛹之前要吐丝结茧，为了保证嘴壶夜蛾的正常发育，本研究并没有将茧剪开，而是将结茧之后的前蛹期(幼虫结茧但并没有化蛹的时期)也视为蛹期。成虫羽化后按照方法 1.1 节进行饲养，直至成虫死亡。本实验共重复 6 次。

1.4 嘴壶夜蛾各龄幼虫体长和体重变化研究

将新产卵 40 粒放入塑料盒中，每天 9:00 和 17:00 观察嘴壶夜蛾的发育进度，将每次观察到的相同发育进度的嘴壶夜蛾放入同一个塑料盒中。各龄幼虫细分为刚蜕皮、中期和将蜕皮 3 个时期，分别代表刚蜕皮幼虫、发育中间时段幼虫和即将蜕皮幼虫。取各时期幼虫(1 龄各时期取 5 头，其余各时期取 1 ~2 头)于 50 mL 塑料管中，在冰水中进行麻醉后，利用游标卡尺和万分之一精度天平测量每头幼虫的体长和体重。由于 1 龄幼虫很小，体长通过 Nikon SMZ1000 拍摄的照片测量，体重则通过测量 5 头幼虫的总体重再计算出单头幼虫的体重获得。本实验共重复 6 次。

1.5 嘴壶夜蛾昼夜活动节律研究

幼虫昼夜活动节律研究参考方法 1.4 节，只是将观察时间改为每天关灯(19:30)之前和开灯(5:30)之后。成虫昼夜活动节律的研究方法如下：将 15 对刚羽化的嘴壶夜蛾成虫放入装有橘子的透明塑料盒(50 cm × 50 cm × 50 cm)中，塑料盒每面有 25 个直径为 3 mm 的小圆孔，利用 2 台红外线摄像机进行 24 h 摄像，每秒钟拍摄一张图片，根据拍摄结果分析成虫的行为。本实验共重复 6 次。

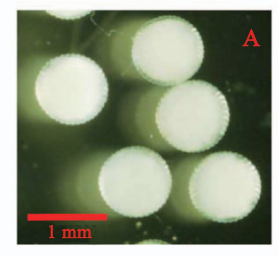
1.6 数据分析

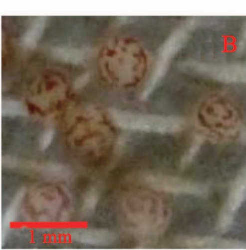
利用 Excel 对原始数据进行分析和作图，结果利用平均值 ± 标准误(mean ± *SE*)表示。利用 SPSS17.0 进行显著性分析，当方差具有齐次性，利用 Duncan 氏法进行显著性分析，当方差不具有齐次性，利用 Student *t* 检验进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 嘴壶夜蛾的形态特征

嘴壶夜蛾的卵为圆饼形(图 1)，直径为 0.7 mm，高度为 0.3 mm，顶部稍隆起，底面中央凹陷，常有固着卵粒的粘胶，卵壁上有 40 条左右纵脊。刚产卵为白色(图 1：A)，之后表面出现褐色斑纹(图 1：B)，即将孵化的卵整体呈现褐色(图 1：C)。







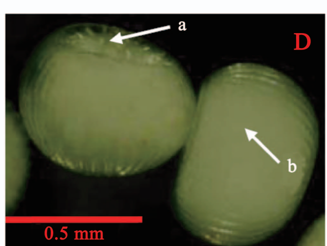


图 1 嘴壶夜蛾的卵

Fig. 1 Eggs of *Oraesia emarginata*

A：刚产卵 Newly laid eggs；B：产后 1 d 的卵 1 d-old eggs；C：产后 3 d 的卵 3 d-old eggs；D：卵腹面的凹陷(字母 a 标记)和卵壳表面的纵脊(字母 b 标记)The hollows on the underside of egg (marked by letter a) and ridges on the egg (marked by letter b).

嘴壶夜蛾幼虫分为 6 龄，各龄幼虫的具体特征如下：

1 龄幼虫为半透明(图 2)，腹部第 5，6 和 10 节各有 1 对腹足(图2：B)；体表各节有多个黑色毛点(图 2)，其中前胸 14 个，中胸、后胸、腹部 1 -4 节 12 个，腹部5 -9 节 10 个，腹部第 10 节6 个，颊部有 1 个大褐斑(图 2：B)。体表各毛点的具体分布如下：气门上线(图 2：A)和气门下线(图 2：B)

位置，胸部和腹部各节均有 1 个毛点；除前胸和腹部第 10 节外，胸部和腹部各节在气门线(图 2：B)位置处有 1 个毛点；胸部和腹部各节在亚背线(图 2：A)位置处有毛点，但是胸部和第 10 腹节只有 1 个，而腹部其余各节有两个；胸部和腹部 1 –4 节在亚腹线(图 2：B)位置处有 1 个毛点，其中腹部 1 –4 节的毛点上着生 2 根黑色刚毛；另外，前胸背中线两侧有 1 个由 4 个毛点围成的梯形(图 2：A)，中胸和后胸在亚背线和气门上线之间有 1 个毛点。

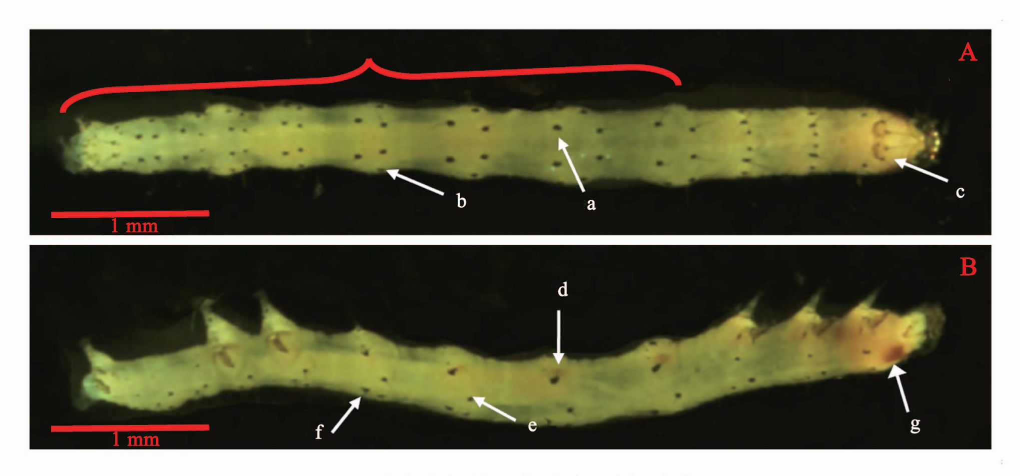


图 2 嘴壶夜蛾的 1 龄幼虫(头部向右)

Fig. 2 The 1st instar larvae of *Oraesia emarginata* (the head toward right)

A：背面观，箭头示位于幼虫腹部(大括弧)亚背线(字母 a 标记)和气门上线(字母 b 标记)上的毛点，以及毛点在前胸围成的梯形(字母 c 标记)Dorsal view：the arrows indicate trichobotheria in the subdorsal line (marked by letter a) and supra-spiracular line (marked by letter b) in abdomen (bracket), and trapezium surrounded by trichobotheria (marked by letter c)；B：腹侧面观，箭头示位于亚腹线 (字母 d 标记)、气门下线 (字母 e 标记) 和气门线 (字母 f 标记) 上的毛点和颊部大褐斑 (字母 g 标记) Ventral-lateral view：the arrows indicate trichobotheria in subventral line (marked by letter d), sub-spiracular line (marked by letter e) and spiracular line (marked by letter f), and a big and brown spot in the gena (marked by letter g).

2 龄幼虫虽然各节仍然有许多毛点，但是由于体色变成褐色(图 3：A)，毛点并不清晰。腹部 1 –4，8 和 10 节亚背线处有 1 个黄色斑(图 3：A)，1 –4 节的黄斑之后还有 1 个黑斑(图 3：A)，前胸背板中部有 1 个大褐斑(图 3：A)，颊部有 6 个小眼(图 3：B)。

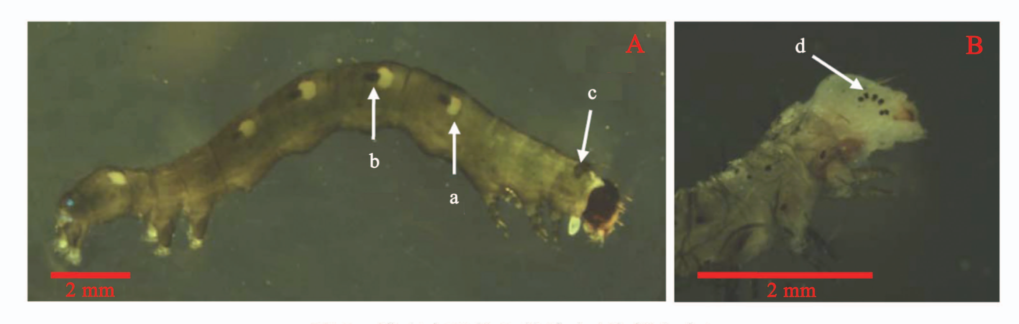


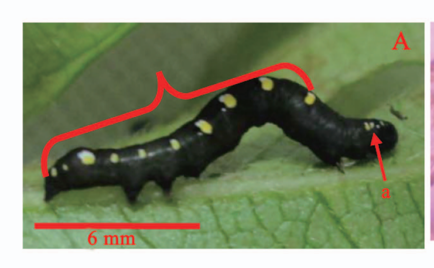
图 3 嘴壶夜蛾的 2 龄幼虫(头部向右)

Fig. 3 The 2nd instar larvae of *Oraesia emarginata* (the head toward right)

A：侧面观，头部向右，箭头示腹部背面的黄斑(字母 a 标记)和黑斑(字母 b 标记)、前胸背板的大褐斑(字母 c 标记) Lateral view, the head toward right, the arrows indicate yellow (marked by letter a) and black (marked by letter b) spots in the abdomen and a big and brown strip in the pronotum (marked by letter c)；B：头胸部侧面观，箭头示颊部的 6 个小眼(字母 d 标记) Lateral view of head and notum, the arrow indicates six ommatidia (marked by letter d).

3 龄幼虫黑色，腹部各节亚背线处均有 1 个大黄斑，以第 1 –4、8 节的黄斑最大(图 4)，这些节

大黄斑的内侧有 1 个白色斑(图 4)。3 - 6 节大黄斑后还有 1 ~ 2 个小斑(图 4)，腹部 2 - 3 节腹面各有 1 对黄斑。前胸和中胸亚背线处也分别有 2 ~ 3 个黄斑(图 4)。



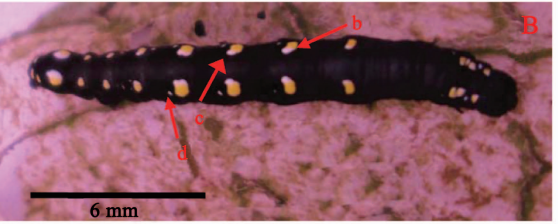
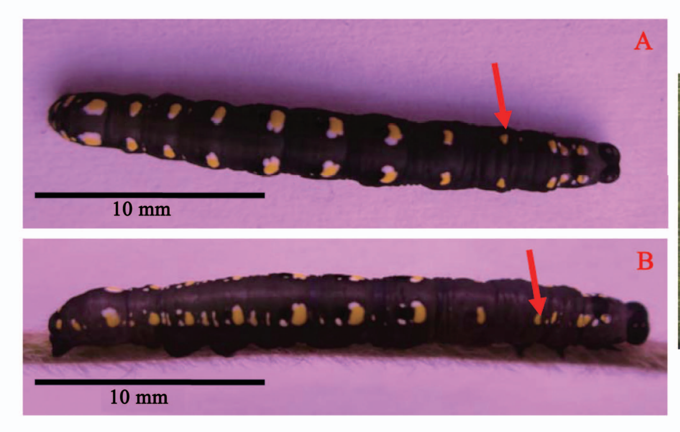


图 4 嘴壶夜蛾的 3 龄幼虫(头部向右)

Fig. 4 The 3rd instar larvae of *Oraesia emarginata* (the head toward right)

A：侧面观，大括弧示腹部，箭头示胸部的黄斑(字母 a 标记)Lateral view：abdomen (marked by bracket) and yellow spots (marked by letter a) in the notum being annoted；B：背面观，箭头示腹部的大黄斑(字母 b 标记)、白斑(字母 c 标记)、小黄斑(字母 d 标记) Dorsal view：big yellow spot (marked by letter b), white spot (marked by letter c) and small yellow (marked by letter d) spot in the abdomen indicated by arrows.

4 龄幼虫黑色，后胸亚背线处存在黄斑(图 5：A，B)，头顶两侧各有 4 个黄斑(图 5：C)，其中 3 个位于亚背线处，另 1 个位于亚背线和小眼之间；腹部第 1 节仅有 1 个由黄斑和白斑组成的大斑，腹部 2 - 10 节亚背线处除了由黄斑和白斑组成的大斑外，还有 1 个小斑(图 5：A)或者数个小斑(图 5：B)。



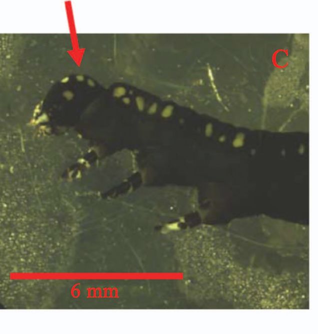


图 5 嘴壶夜蛾的 4 龄幼虫

Fig. 5 The 4th instar larvae of *Oraesia emarginata*

A，B：分别为背面观和侧面观，头部向右，箭头示后胸亚背线处的黄色斑 Dorsal view and lateral view, respectively, the head toward right, yellow spot in the mesothorax indicated by the arrow；C：头胸部侧面观，箭头示头部黄斑 Lateral view of head and thorax, yellow spot in the head indicated by the arrow.

5 龄幼虫黑色，腹部第 4 节有 1 对腹足(图 6：D)。腹部亚背线色斑的数量在个体间存在差异，部分个体 2 - 5 节各有 1 个红斑，1 - 3 节各有 1 ~ 2 个黄色或白色小斑(图 6：A)，部分个体无红斑，但是 1 - 3 节有 4 ~ 6 个黄色和白色小斑(图 6：B)，还有部分个体 2 - 5 节各有 1 个红斑，1 - 3 节有 4 ~ 6 个黄色和白色小斑(图 6：C)，不过所有 5 龄幼虫腹部 1 - 3 节亚背线上的斑比 4 - 10 节稀疏(图 6：A ~ D)。6 龄幼虫腹部各节亚背线上的斑排列非常均匀，1 - 7 节有 7 ~ 10 个斑，其中 1 - 5 节各有 1 ~ 2 个红斑，8 - 10 节各有 3 ~ 5 个斑(图 6：E)。

嘴壶夜蛾的蛹体长 18 ~ 20 mm，体宽 5 ~ 6 mm，红褐色(图 7：A)。腹部 5 - 7 节背面与腹面前缘有一横列深刻点，腹末钝形，其上有极小而不规则的皱折(图 7：C)，每侧各有一对刺状突起，腹面两个距离较远(图 7：C)。雌性腹部倒数第 2 和 3 节有排泄孔和生殖孔，雄性腹部倒数第 2 节有排泄孔。

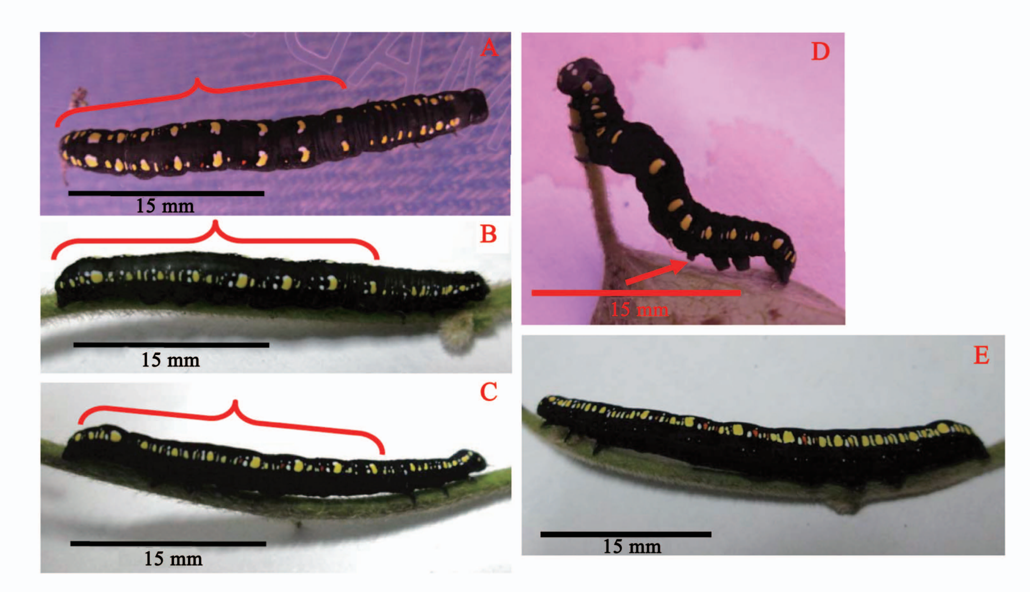


图 6　嘴壶夜蛾的 5 和 6 龄幼虫

Fig. 6　The 5th and 6th instar larvae of *Oraesia emarginata*

A–D：5 龄幼虫，A～C 幼虫头部向右，括号标志部分为腹部 5th instar larvae，the heads of larvae toward right in A–C，abdomens is marked in brackets. A：背面观 Dorsal view；B：侧面观 Lateral view；C：侧背面观 Dorsa-lateral view；D：侧面观，幼虫头部朝左上角，箭头示腹部第 4 节的腹足 Lateral view，the head towards up-left，the arrow indicating legs of the 4th abdomen；E：6 龄幼虫，侧面观，幼虫头部向左 The 6th instar larva，lateral view，the head towards left.

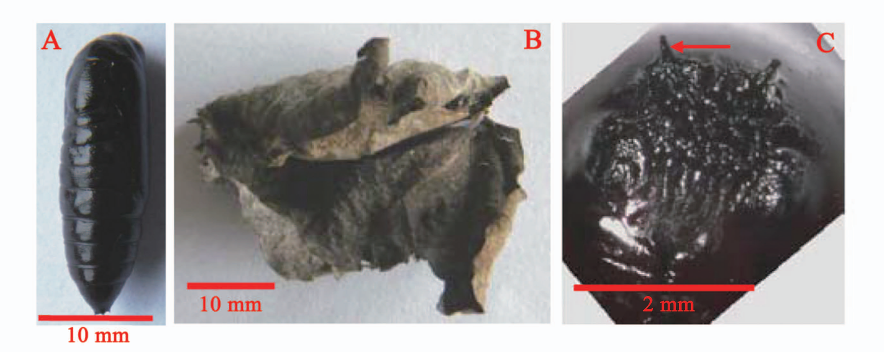


图 7　嘴壶夜蛾蛹

Fig. 7　The pupa of *Oraesia emarginata*

A：蛹背面观，上方为头部 Dorsal view of pupa，the head up；B：茧 Cocoon；C：蛹腹部末端后面观，上方为背面，箭头所指为刺状突起 Back view of the abdominal terminal of pupa，the dorsal side up，the arrow indicats a spine.

嘴壶夜蛾的成虫体长 18～21 mm（图 8），翅展 34～40 mm。前翅翅尖突出，外缘中部突出成角状，后缘中部内凹呈弧形；翅面赤褐色，中横线深褐色，从后缘中部延伸至翅中部；翅尖伸出一条深色斜线，延伸至后缘端部 1/5 处；斜线之后翅面颜色较斜线之前浅（图 8：A）。后翅黄褐色，外缘内侧灰褐色。下唇须呈鸟喙状（图 8：B）。雌蛾触角丝状，雄蛾触角栉状（图 8：C）。

2.2　嘴壶夜蛾的发育

在设置的条件下，嘴壶夜蛾的寿命为 54.70 ± 0.82 d。各虫态的发育历期中，幼虫和成虫没有显著差异（$P = 0.304$），其余各虫态之间均有显著差异（$P < 0.001$）（表 1）。雌雄成虫的存活时间分别为 16.00 ± 0.93 d 和 20.39 ± 1.33 d，差异达到显著性水平（$P = 0.008$）。幼虫各龄的发育历期中，6 龄幼虫的发育历期显著长于其余各龄幼虫（$P < 0.001$），5 龄幼虫的发育历期显著长于 1–4 龄幼虫（$P < 0.001$），1 龄幼虫的发育历期显著长于 2 和 4 龄幼虫（$P \leqslant 0.008$），和 3 龄幼虫之间没有显著差异（$P = 0.178$），2–4 龄幼虫的发育历期均没有显著差异（$P \geqslant 0.069$）（表 2）。

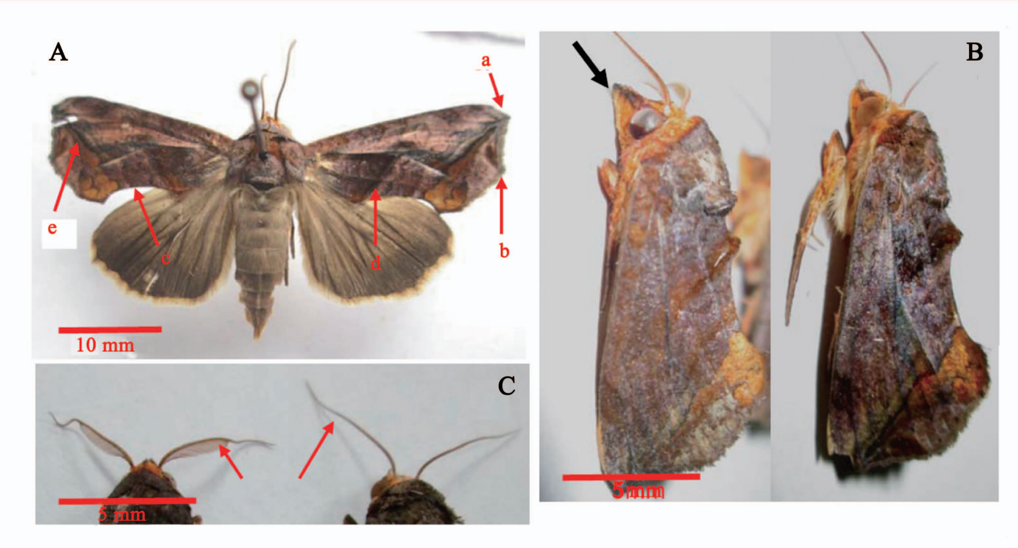


图 8　嘴壶夜蛾成虫

Fig. 8　Moths of *Oraesia emarginata*

A: 雌蛾背面观，箭头示前翅翅尖(字母 a 标记)、外缘中部突起(字母 b 标记)、后缘中部凹陷(字母 c 标记)、中横线(字母 d 标记)、翅尖伸出的斜线(字母 e 标记) Dorsal view of female moth, the arrows indicate apex (marked by letter a), the angle process of outer line (marked by letter b), the depression of inner margin (marked by letter c), the mid-line (marked by letter d), the band from apex (marked by letter e) of forewing; B: 雄蛾(左)和雌蛾(右)侧面观，箭头示下唇须 Lateral view of male (left) and female moth (right), the arrow indicates labial palpus; C: 雄蛾(左)和雌蛾(右)触角 Antennae of male (left) and female moth (right).

在整个发育过程中，嘴壶夜蛾的存活率为 63.75% ±1.91%，其中各虫态的存活率之间均有显著差异($P<0.001$)(表 1)。各龄幼虫的发育存活率中，3 龄幼虫的存活率显著大于 4－6 龄幼虫($P\leqslant0.006$)，但显著小于 1－2 龄幼虫($P\leqslant0.009$)；1－2 龄幼虫的存活率之间($P=0.989$)、4－6 龄幼虫的存活率之间($P\geqslant0.449$)均没有显著性差异(表 2)。

2.3　嘴壶夜蛾幼虫的体长和体重发育

刚孵化 1 龄幼虫体长为 3.62 ±0.30 mm，中期时达到 6.87 ±0.24 mm，蜕皮前缩短为 6.09 ±0.21 mm，中期比刚孵化时增长了 1.89 倍；2 龄幼虫刚蜕皮时体长为 7.65 ±0.27 mm，中期时达到 12.51 ±0.21 mm，蜕皮前缩短为 9.25 ±0.24 mm，中期比刚蜕皮时增长了 1.64 倍；3 龄幼虫刚蜕皮时体长为 11.51 ±0.68 mm，中期时达到 17.91 ±0.57 mm，蜕皮前缩短为 14.56 ±0.38 mm，中期比刚蜕皮时增长了 1.56 倍；4 龄幼虫刚蜕皮时体长为 19.23 ±0.51 mm，中期时达到 26.81 ±0.68 mm，蜕皮前缩短为 23.95 ±0.66 mm，中期比刚蜕皮时增长了 1.39倍；5 龄幼虫刚蜕皮时体长为 26.90 ±0.83 mm，中期时达到 37.29 ±0.72 mm，蜕皮前缩短为 32.61 ±0.97 mm，中期比刚蜕皮时增长了 1.39 倍；6 龄幼虫刚蜕皮时体长为 39.02 ±1.63 mm，中期时

表 1　嘴壶夜蛾各虫态的发育历期和存活率

Table 1　The developmental duration and survival rate of *Oraesia emarginata*

虫态 Developmental stage	发育历期(d) Developmental duration	存活率(%) Survival rate
卵 Egg	3.69 ±0.05 c	98.75 ±0.56 a
幼虫 Larva	18.99 ±0.17 a	71.28 ±1.50 c
蛹 Pupa	13.90 ±0.08 b	90.51 ±1.21 b
成虫 Adult	18.12 ±0.82 a	

同列数据(平均值 ± 标准误)后不同的字母表示差异显著，显著性水平为 $P=0.05$ (t 检验)；表 2 同。Different letters following the data (mean ± *SE*) within a column mean significant difference at $P=0.05$ (t-test method). The same for Table 2.

表 2　嘴壶夜蛾幼虫各龄的发育历期和存活率

Table 2　The developmental duration and survival rate of *Oraesia emarginata* larvae at different instars

幼虫龄期 Larval instars	发育历期(d) Developmental duration	存活率(%) Survival rate
1 龄 1st instar	2.77 ±0.08 c	98.73 ±0.57 a
2 龄 2nd instar	2.53 ±0.04 d	98.72 ±0.57 a
3 龄 3rd instar	2.63 ±0.06 cd	96.12 ±0.56 b
4 龄 4th instar	2.48 ±0.06 d	91.89 ±0.99 c
5 龄 5th instar	3.40 ±0.08 b	90.62 ±1.27 c
6 龄 6th instar	5.18 ±0.08 a	91.39 ±0.57 c

达到 50.24 ± 1.81 mm，中期比刚蜕皮时增长了1.29倍。在整个幼虫的生长过程中，6 龄中期比 1 龄刚孵化时体长增加了 13.87 倍。1 - 5 龄幼虫中期时（1 龄除外）的体长显著大于蜕皮前（$P \leq 0.009$），再显著长于刚蜕皮时（$P \leq 0.009$），1 龄幼虫中期时的体长和蜕皮前没有显著差异（$P = 0.064$）（图 9）。刚蜕皮 2 龄幼虫的体长和 1 龄中期幼虫之间存在显著差异（$P = 0.048$），其余各龄刚蜕皮幼虫的体长和前一龄中期幼虫之间没有显著差异（$P \geq 0.106$）。

1 龄幼虫刚孵化时体重为 0.14 ± 0.01 mg，中期时达到 0.98 ± 0.13 mg，蜕皮前减少为 0.49 ± 0.11 mg，中期比刚蜕皮时增长了 6.86 倍；2 龄幼虫刚蜕皮时体重为 1.27 ± 0.14 mg，中期时达到 4.94 ± 0.26 mg，蜕皮前减少为 2.65 ± 0.26 mg，中期比刚蜕皮时增长了 3.89 倍；3 龄幼虫刚蜕皮时体重为 5.28 ± 0.25 mg，中期时达到 17.44 ± 1.92 mg，蜕皮前减少为 11.35 ± 0.34 mg，中期比刚蜕皮时增长了 3.30 倍；4 龄幼虫刚蜕皮时体重为 24.95 ± 1.93 mg，中期时达到 78.36 ± 5.73 mg，蜕皮前减少为 58.58 ± 5.45 mg，中期比刚蜕皮时增长了3.14倍；5 龄幼虫刚蜕皮时体重为 77.03 ± 6.57 mg，中期时达到 203.22 ± 10.55 mg，蜕皮前减少为 166.68 ± 11.78 mg，中期比刚蜕皮时增长了 2.64 倍；6 龄

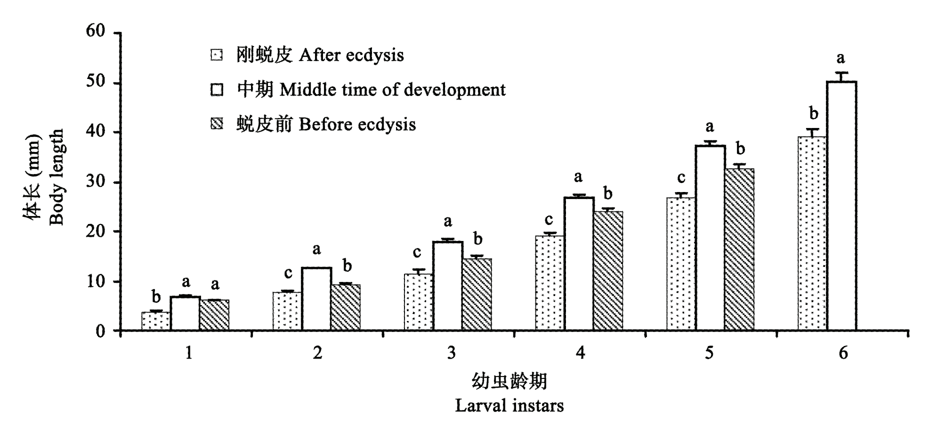


图 9　幼虫发育过程中的体长变化

Fig. 9　Body length in the larval development of *Oraesia emarginata*

柱上不同字母表示不同龄期间差异显著（$P < 0.05$，t 检验）；图 10 同。Different letters above bars mean significant difference at $P = 0.05$ (t-test). The same for Fig. 10.

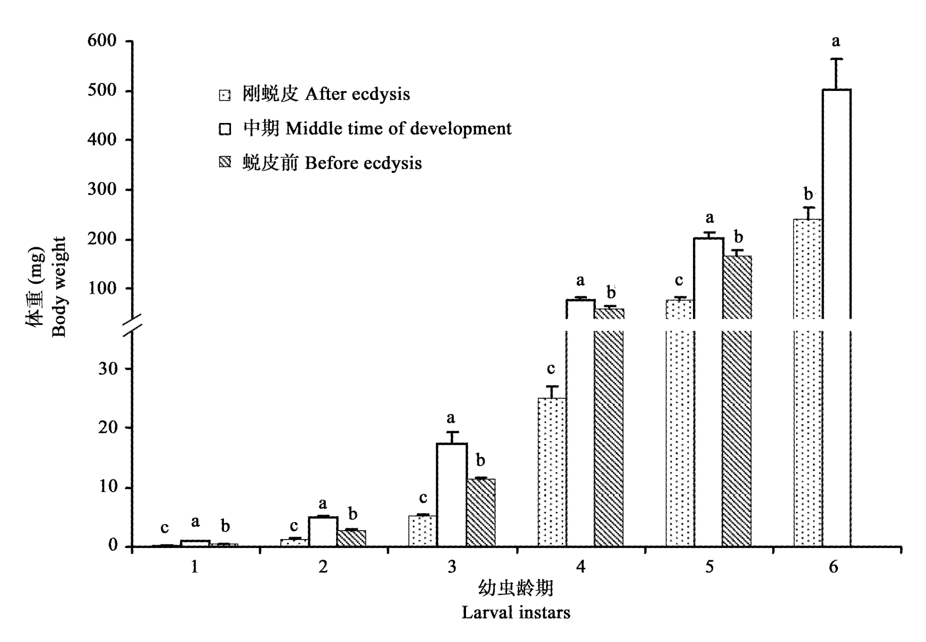


图 10　幼虫发育过程中的体重变化

Fig. 10　Body weight in the larval development of *Oraesia emarginata*

幼虫刚蜕皮时体重为 242.04 ± 21.56 mg，中期时达到 502.36 ± 62.09 mg，中期比刚蜕皮时增长了 2.08 倍。各龄幼虫发育中期的体重显著大于蜕皮前（$P \leq 0.037$），再显著大于刚蜕皮时（$P \leq 0.005$），刚蜕皮 4 龄幼虫的体重和 3 龄中期幼虫之间存在显著差异（$P = 0.015$），其余各龄刚蜕皮幼虫的体重和前一龄中期幼虫之间均没有显著差异（$P \geq 0.141$）（图 10）。

2.4 嘴壶夜蛾的昼夜活动节律

幼虫在光期（昼）和暗期（夜）都能够孵化、蜕皮和化蛹，但是光期的孵化率和化蛹率高于暗期，分别为 80.6% 和 75.0% 以及 19.4% 和 25.0%，不过幼虫在光期和暗期的蜕皮节律比较相似，分别为 54.8% 和 45.2%（图 11）。

成虫在光期和暗期都有飞行活动，但是暗期的飞行活动占了整天活动总量的 95.4%（图 12：B）。暗期前 4 h 的活动量占了暗期活动量的 63.1%，其中第 1 小时的活动就占了 21.5%，随着暗期的延长，飞行活动逐渐变少，暗期 5 h 开始，嘴壶夜蛾的飞行活动趋于稳定，每小时的活动量仅占暗期活动量的 4.7% ~ 6.7%（图 13）。光照条件下嘴壶夜蛾的活动集中在前 4 h，占了光期活动量的 96.0%，其中第 1 小时活动最频繁，占了光期活动量的 68.9%，开灯 4 h 之后的活动很少。

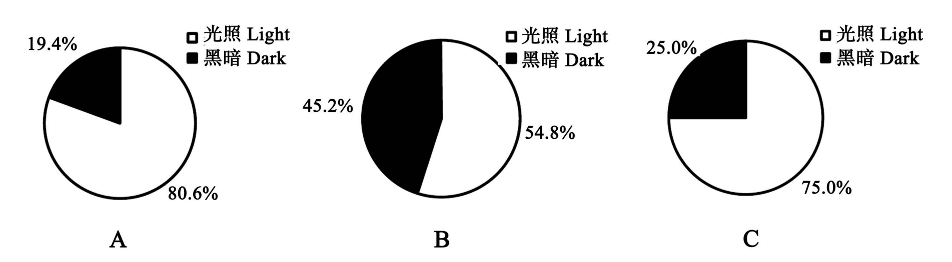


图 11 嘴壶夜蛾幼虫孵化（A）、蜕皮（B）和化蛹（C）的昼夜活动节律

Fig. 11 Diurnal rhythm of hatching (A), ecdysis (B) and pupation (C) of *Oraesia emarginata* larvae

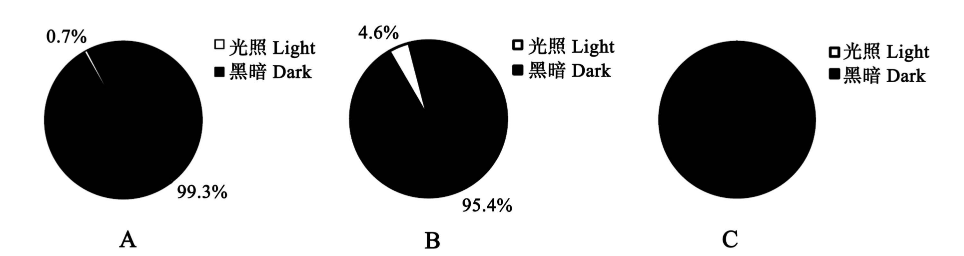


图 12 嘴壶夜蛾成虫产卵（A）、飞行（B）和交配行为（C）的昼夜活动节律

Fig. 12 Diurnal rhythm of oviposition (A), flying (B) and mating behavior (C) of *Oraesia emarginata* moths

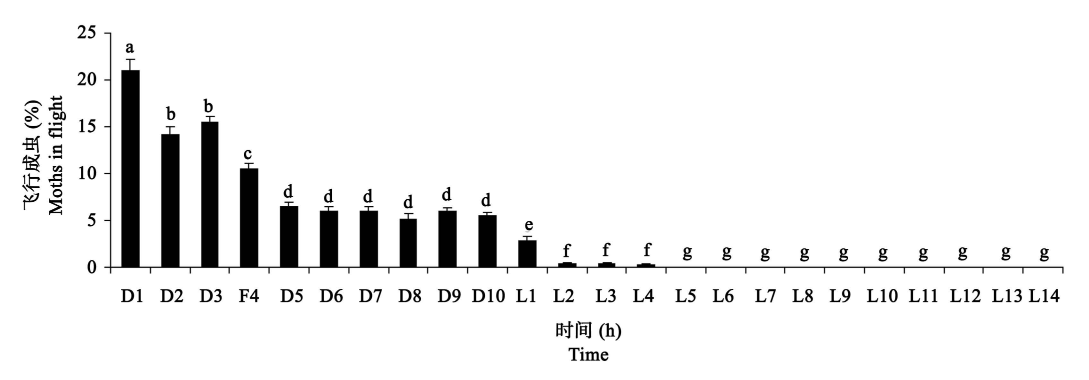


图 13 嘴壶夜蛾成虫飞行的时间分布

Fig. 13 Temporal distribution of flying *Oraesia emarginata* moths in 24 hours

D：暗期 Dark period；L：光期 Light period. 柱上不同字母表示不同时间之间差异显著（$P < 0.05$，*t* 检验）；图 14 同。Different letters above bars mean significant difference among different time at $P = 0.05$ (*t*-test). The same for Fig. 14.

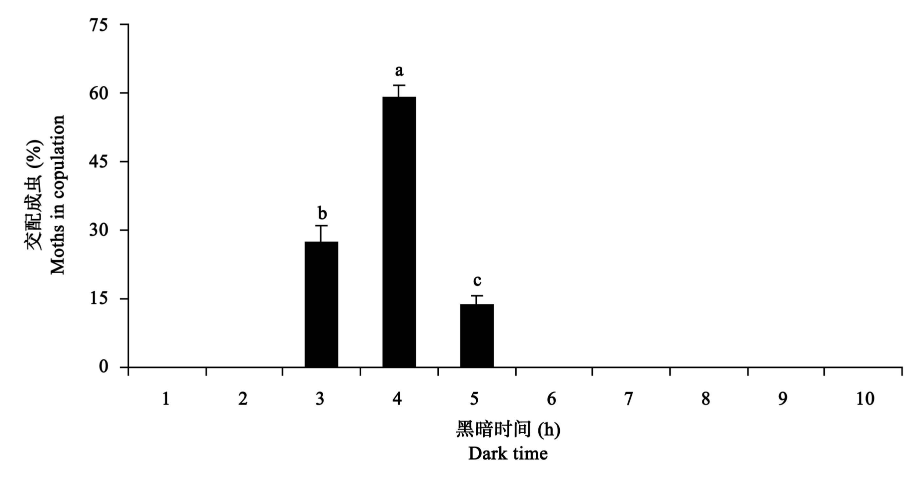


图 14　暗期嘴壶夜蛾成虫交配的时间分布

Fig. 14　Temporal distribution of copulation of *Oraesia emarginata* moths in dark period

成虫的交配只发生在暗期(图 12：C)的第 3 – 5 小时，其中以暗期第 4 小时的交配数量最多，占了总交配数量的 58.6%，暗期第 3 和第 5 小时的交配比例分别为 27.6% 和 13.8%(图 14)。产卵也主要发生在暗期，占据了总产卵量的 99.3%(图 12：A)。

3　讨论与结论

嘴壶夜蛾是危害水果果实的重要害虫，但是在文献中很难找到系统的嘴壶夜蛾形态描述。正确鉴定昆虫是进行防治的前提和基础，因此本文详细描述了嘴壶夜蛾各虫态以及幼虫各龄的外部形态特征，筛选出了稳定的鉴定特征。嘴壶夜蛾成虫的鉴别特征是“下唇须呈鸟喙状，前翅翅尖突出，外缘中部成角状突出，后缘中部内凹呈弧形；中横线从后缘中部延伸至翅中部；一条深色斜线从翅尖一直延伸至后缘端部 1/5 处，斜线之后翅面颜色较斜线之前淡”。嘴壶夜蛾雌雄性的鉴别特征是“雌蛹腹部倒数第 3 节有生殖孔，雄蛹没有；雌蛾触角丝状，雄蛾触角栉状”。嘴壶夜蛾各龄幼虫的鉴别特征如下：“1 龄幼虫为半透明，体表各节有多个毛点；2 龄幼虫为褐色，腹部第 1 – 4，8 和 10 节亚背线处有 1 个黄斑；3 龄幼虫腹部各节亚背线处均有 1 ~ 3 个黄斑，前胸和中胸亚背线处也有黄斑；4 龄幼虫后胸亚背线处存在黄斑，头顶两侧各有 4 个黄斑；5 龄幼虫腹部除了第 5，6 和 10 节外，第 4 节也有 1 对腹足，腹部第 1 – 3 节表面的斑比第 4 – 10 节表面的斑稀疏，腹部第 2 – 4 节有 1 ~ 2 个红斑；6 龄幼虫腹部各节表面的斑排列密而且均匀，第 1 – 5 节各有 1 ~ 2 个红斑。”

本研究发现，当温度为 26 ± 1℃，相对湿度为 75% ± 5%，光周期为 14L∶10D 时，嘴壶夜蛾的寿命为 54.70 ± 0.82 d，其中各虫态的发育历期分别为，卵：3.69 ± 0.05 d；幼虫：18.99 ± 0.17 d，蛹：13.90 ± 0.08 d；成虫：18.12 ± 0.82 d。6 龄幼虫的发育历期(5.18 ± 0.08 d)显著长于其余各龄幼虫($P < 0.001$)。这些和以往研究结果相似(Ishigai and Hatta，1960；Iwabuchi *et al.*，1979；邹曾健等，1980)。但是本研究中雌蛾的存活时间(16.00 ± 0.93 d)显著短于雄蛾(20.39 ± 1.33 d)，而早前研究发现雄蛾和雌蛾的存活时间相似(Iwabuchi *et al.*，1979)。以前研究发现嘴壶夜蛾卵在 28℃时的孵化率为 96.0%，蛹在 28.3 ℃时的羽化率为 89.2%(Ishigai and Hatta，1960)，在 25℃时达到 93.3%(Iwabuchi *et al.*，1979)，和本研究结果基本一致。本研究中，嘴壶夜蛾的发育存活率为 63.62% ± 2.15%，稍稍小于文献记录的发育存活率(Iwabuchi *et al.*，1979)，这主要是由于本研究中幼虫的存活率较低，只有 71.28% ± 1.50%。本研究中 4 – 6 龄幼虫的存活率只有约 91%，3 龄幼虫的存活率也只有 96.1%。一般而言，高龄幼虫由于自身的免疫能力增强，存活率会高于低龄幼虫(Andreadis *et al.*，2012)，本研究却出现了相反结果，这可能与幼虫的饲养条件有关：本研究采用了塑料盒群集饲养幼虫，由于塑料盒的屏蔽作用，盒内的饲养湿度高于环境湿度，当幼虫龄期较低时，高的饲养湿度有利于幼虫存活(Hussain *et al.*，2011)，但是随着龄期增加，幼虫的代谢能力增强，过高的饲养湿度会致使高龄幼虫的死亡率增加(Hussain *et al.*，2011)。

本实验对嘴壶夜蛾幼虫各发育期的体长和体重进行了测量，发现在幼虫发育过程中，体长共增长了13.9倍，体重增加了3 532.2倍。虽然高龄幼虫体长和体重增加的绝对值大于低龄幼虫，但是高龄幼虫体长和体重的增长速率却低于低龄幼虫，例如6龄幼虫体长和体重增长了11.24 mm和260.32 mg，分别增长了1.29和2.08倍，而1龄幼虫体长和体重增长了3.24 mm和0.83 mg，分别增长了1.89倍和6.86倍。各龄发育中期幼虫的体长和体重显著大于刚蜕皮和蜕皮前幼虫，这主要是由于蜕皮之后幼虫迅速增长，在体内积累大量物质，中期后，准备下一次蜕皮成了此时幼虫的主要任务，体内储存的部分物质将会转化为幼虫蜕皮需要的物质，例如形成新表皮和能量，用于保证幼虫的正常蜕皮。各龄蜕皮前幼虫的体长和体重显著大于刚蜕皮幼虫，说明幼虫在发育前期积累的物质远远超过了幼虫蜕皮等生理活动的需要。另外，各龄刚蜕皮幼虫的体长和体重与前一龄发育中期幼虫之间没有显著差异。

本研究发现，嘴壶夜蛾幼虫在光期和暗期均有活动，但是光期的活动频率高于暗期，例如幼虫在光期的孵化率和化蛹率分别占了80.6%和75.0%，表明嘴壶夜蛾幼虫主要在白天活动。嘴壶夜蛾成虫虽然在暗期和光期都能飞行和产卵，但是光期的产卵量和飞行频率很低，分别仅占0.7%和4.6%，而成虫的交配只发生在暗期，表明嘴壶夜蛾成虫是夜行性昆虫。嘴壶夜蛾成虫在暗期的前4 h飞行活动频繁，占了整天活动量的60.4%，其中暗期第1小时的飞行活动就占了整天活动总量的20.6%，之后，成虫的飞行活动逐渐变少。这主要是由于暗期的前2 h是成虫的取食时间(Ogihara *et al*., 1996a)，为了寻找合适的食物，成虫需要进行频繁的飞行。嘴壶夜蛾成虫的交配发生在暗期的第3－5小时，其中以黑暗后第4小时的交配数量最多，占了总交配数量的58.6%。为了搜寻到合适的交配对象，成虫也需要进行频繁的飞行。有文献指出，成虫在暗期第5.6－7小时会出现一个飞行高峰期，因为雌蛾在黑暗5.3 h开始求偶，黑暗6.3 h开始交配，黑暗7~8 h时达到交配高峰(Ogihara *et al*., 1996a)。造成这种差异的原因可能是使用了不同的研究条件和不同种群的嘴壶夜蛾。本研究的实验条件为光照14L∶10D，温度26℃，使用的试虫为江西赣州种群，而Ogihara等(1996a)的实验条件为光照15L∶9D，温度为23~24℃，使用的试虫为日本爱媛县种群，两个种群的采集地之间相距2 000 km，并且间隔东海。

本研究找出了嘴壶夜蛾成虫、雌雄性别和各龄幼虫的鉴别特征，这些特征不仅稳定，而且容易观察，不需要任何特殊工具，为嘴壶夜蛾的正确鉴定，尤其是为基层农技人员准确鉴定嘴壶夜蛾提供了标准。本研究理清了室内条件下嘴壶夜蛾的生长发育情况并在室内进行了连续多代饲养，使嘴壶夜蛾的室内饲养成为可能。室内饲养时，嘴壶夜蛾幼虫期的死亡率较高，因此在进行嘴壶夜蛾室内饲养时，一定要控制好幼虫的饲养条件，降低幼虫的死亡率。嘴壶夜蛾具有发育较快，存活率较高，饲养较为容易，成虫存活时间较长、个体较大，雌雄性鉴别容易，触角存在性别差异等优点，为嘴壶夜蛾作为一种理想的嗅觉研究蛾类模型提供了便利。嘴壶夜蛾成虫是典型的夜行性昆虫，在暗期的前4 h飞行频率较高，因此在利用灯光诱杀时，可以将开灯时间控制在黑暗的前4~5 h，这样既可以保证防治效果，又有效地降低了防治成本。本研究结果不仅有助于制定合理的嘴壶夜蛾防治措施，同时为嘴壶夜蛾的其他研究包括嗅觉研究奠定了基础。

参考文献(References)

Andreadis SS, Eliopoulos PA, Savopoulou-Soultani M, 2012. Cold hardiness of immature and adult stages of the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*. *J. Stored Prod. Res*., 48: 132－136.

Chen YX, 1999. Fauna Sinica Insecta, Vol. 16. Lepidoptera, Noctuidae. Science Press, Beijing. [陈一心, 1999. 中国动物志, 昆虫纲, 第16卷: 鳞翅目, 夜蛾科. 北京: 科学出版社]

Chou TJ, Du PS, Wu JT, 1980. On the biology and habits of eleven fruit-piercing noctuids and the morphology of the immature stages. *Journal of South China Agricultural College*, 1(2): 86－100. [邹曾健, 杜佩璇, 吴荣宗, 1980. 吸果夜蛾的生物学特性及其幼虫等形态的识别. 华南农学院学报, 1(2): 86－100]

Hussain M, Khan SA, Naeem M, Mohsin AU, 2011. Effect of relative humidity on factors of seed cocoon production in some inbred silk worm (*Bombyx mori*) lines. *Int. J. Agric. Biol*., 13(1): 57－60

Ishigai T, Hatta S, 1960. Research on the fruit-piercing moths, especially on smaller oreasia, *Oreasia emargina* Fabricius. I. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci*., 29(3): 223－227.

Iwabuchi K, Ishii K, Hosokawa C, 1979. Artificial diets for rearing of larvae of fruit-piercing moth, *Oraesia emarginata* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool*., 23(2): 105－109.

Krenn HW, 2010. Feeding mechanisms of adult Lepidoptera: structure, function, and evolution of the mouthparts. *Annu. Rev. Entomol*., 55(1): 307－327.

Kuebler LS, Schubert M, Kárpáti Z, Hansson BS, Olsson SB, 2012.

Antennal lobe processing correlates to moth olfactory behavior. *J. Neurosci.*, 32(17): 5772-5782.

Leong SCT, Kueh RJH, 2011. Seasonal abundance and suppression of fruit-piercing moth *Eudocima phalonia* (L.) in a citrus orchard in Sarawak. *Scientifical World Journal*, 11: 2330-2338.

Liu YS, 2000. Occurrence and control of two dominant species of fruit-piercing moth. *Subtropical Plant Science*, 29(4): 32-35. [刘永生, 2000. 吸果夜蛾优势种群的发生与防治. 亚热带植物科学, 29(4): 32-35]

Mohite AS, Tembhare DB, Umarkar SP, 2004. Biology and behaviour of developing stages of fruit sucking moth, *Othreis materna* Linn. (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Entomol. Res.*, 28(1): 37-45.

Ogihara H, Kubota S, Ikeuchi S, 1996a. Mating, feeding and flight behaviors of the fruit sucking moth, *Oraesia emarginata* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 40(3): 209-215.

Ogihara H, Kubota S, Ikeuchi S, 1996b. The longevity and feeding behavior of the adult fruit sucking moth, *Oraesia emarginata* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) under artificial and natural conditions. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 40(3): 227-232.

Ogihara H, Kubota S, Mori S, 1996c. Seasonal prevalence of fruit-sucking moth, *Oraesia emarginata* Fabricius (Lepidoptera, Noctuidae) under natural condition. *Jpn. J. Entomol.*, 64(1): 203-210.

Ogihara H, Kubota S, Mori S, 1992. Effect of food quality on larval growth of *Oraesia emarginata* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 36(1): 54-55.

Ogihara H, Kubota S, Mori S, 1995. Effects of temperature and photoperiodism and development of a fruit-sucking moth, *Oraesia emarginata* Fabricius (Lepidoptera, Noctuidae). *Jpn. J. Entomol.*, 63(2): 451-457.

Ramkumar J, Swamiappan M, Raguraman S, Sadasakthi A, 2010. Larval host specificity and proboscis morphology of fruit piercing moth. *J. Biopest.*, 3(2): 428-431.

Saveer AM, Kromann SH, Birgersson G, Bengtsson M, Lindblom T, Balkenius A, Hansson BS, Witzgall P, Becher PG, Ignell R, 2012. Floral to green: mating switches moth olfactory coding and preference. *Proc. R. Soc. B*, 279(1737): 2314-2322.

Srivastava RP, Bogawat JK, 1969. Feeding mechanism of a fruit-sucking moth *Othreis materna* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Nat. Hist.*, 3(2): 165-181.

Takasaki T, Namiki S, Kanzaki R, 2012. Use of bilateral information to determine the walking direction during orientation to a pheromone source in the silkmoth *Bombyx mori*. *J. Comp. Physiol. A*, 198(4): 295-307.

Tian R, Izumi Y, Sonoda S, Yoshida H, Takehiko F, Tetsuo S, Tsumuki H, 2007. Estimation of repellency of a volatile compound, sec-butyl β-styryl ketone, against fruit-piercing moths. *Appl. Entomol. Zool.*, 42(3): 433-437

Wu JT, 1984. Studies on the citrus fruit-piercing noctuids. Ⅱ. Research on the control of the fruit-piercing noctuids. *Joural of South China Agricultural College*, 5(2): 26-35. [吴荣宗, 1984. 柑桔吸果夜蛾的研究——Ⅱ. 防治方法的探讨. 华南农学院学报, 5(2): 26-35]

Wu JT, Du PS, Chou TJ, 1984. Studies on the citrus fruit-piercing noctuids. Ⅰ. The biology and regularity of the outbreak of the fruit-piercing noctuids. *Journal of South China Agricultural College*, 5(1): 60-71. [吴荣宗, 杜佩璇, 邹曾健, 1984. 柑桔吸果夜蛾的研究——Ⅰ. 生物学特性及发生规律. 华南农学院学报, 5(1): 60-71]

(责任编辑：袁德成)